不同土地利用方式对农田土壤有机碳组分及土壤微生物量碳的影响

李 娜, 信会男, 赖 宁, 李永福, 吕彩霞,
耿庆龙, 段婧婧, 陈署晃

(新疆农业科学院土壤肥料与农业节水研究所,新疆 乌鲁木齐 830091)

摘 要: 研究不同土地利用方式下农田土壤有机碳组分及微生物量碳的含量特征对指导伊犁河谷土壤资源的合理利用与管理具有重要意义。通过野外实地调查、样品采集、室内分析与地统计相结合的方法,研究伊犁河谷旱地、水浇地、水田、果园、撂荒地5种土地利用方式土壤有机碳(SOC)、颗粒有机碳(POC)、可溶性有机碳(DOC)、轻组有机碳(LFOC)、易氧化有机碳(EOC)和微生物量碳(MBC)的含量特征,比较分析土地利用变化对伊犁河谷农田土壤有机碳组分及微生物量碳的影响。结果表明:土壤TN、AN、AP和AK含量均表现为:水田>水浇地>旱地>果园>撂荒地;水田土壤养分含量显著高于其他4种土地利用方式;土壤SOC含量具有明显的差异特征,主要体现为:水田(25.62 g·kg^{-1})>旱地(13.80 g·kg^{-1})>水浇地(12.19 g·kg^{-1})>果园(11.58 g·kg^{-1})>撂荒地(8.81 g·kg^{-1}),且均达到显著性差异水平(P<0.05)。土壤SOC、DOC、POC、LFOC、MBC含量均呈现出:水田>旱地>水浇地>果园>撂荒地的特征,其差异达到极显著水平,而EOC含量则表现为:水田>水浇地>旱地>果园>撂荒地的特征,其差异达到极显著水平。水田土壤SOC、DOC、POC、LFOC、MBC、EOC含量均显著高于其他4种利用方式。5种土地利用方式土壤SOC与POC、LFOC、DOC之间存在极显著的正相关,其相关系数分别为0.622,0.36,0.489(P<0.01),说明土壤SOC含量是影响土壤POC、LFOC和DOC含量的重要因素。

关键词: 土地利用方式; 农田土壤; 有机碳组分; 微生物量碳; 伊犁河谷

土壤有机碳(SOC)是陆地生态系统中最大的碳库之一,对全球气候变化及生态环境演变有着重要影响[1]。SOC亦是评价土壤肥力和耕地质量的重要指标[2],一方面其数量和质量决定了土壤肥力状况及碳库的稳定性,另一方面也是维持土壤养分和调节土壤理化性质的关键[3-4]。土地利用是指在陆地生态系统中土壤表层覆盖的植被类型,主要有耕地、园地、林地、草地等,通过改变土地利用方式来调控输入到土壤中SOC的数量和质量,从而影响土壤理化性质,改变土壤微生物群落活性。农田土壤频繁受到人类活动干扰,不仅影响着陆地生态系统碳固定的能力和水平,而且通过影响SOC形成和转换因子,间接影响SOC的含量和分布[5],SOC及其组分的动态变化,影响着农田生态系统的可持续发展,研究农田土壤SOC及其组分的变化对选择合理的耕作方式、稳定土壤碳库具有重要意义[6]。

SOC可分为活性有机碳和稳定态有机碳,其中活性有机碳在土壤碳库中较活跃,容易受农田管理措施的影响,是评价和衡量有机碳库变化,评估土壤肥力和耕地质量的重要参数[7]。土壤活性有机碳通常分为微生物量碳(MBC)、易氧化有机碳(EOC)、颗粒有机碳(POC)、轻组有机碳(LFOC)、可溶性有机碳(DOC)等组分;各组分对土地利用方式的敏感度不同[8-11],微生物量碳(MBC)、EOC、POC、LFOC和DOC作为土壤活性组分指标,对土地利用方式的转变较为敏感,是土壤健康和环境变化最敏感的生命

收稿日期: 2024-01-05; **修订日期:** 2024-08-06
基金项目: 新疆农业科学院自主培育项目"不同土地利用方式对土壤有机碳组分及土壤微生物量碳氮的影响"(nkyzzkj-013);新疆农业科学院农业科技创新稳定支持专项课题(xjnkywdzc-2023002);中央引导地方科技发展专项资金项目(YDZX20186500001910)
作者简介: 李娜(1992-),女,硕士,助理研究员,研究方向为农业大数据与农业遥感. E-mail: lina@xaas.ac.cn
通讯作者: 陈署晃. E-mail: chensh66@163.com

指标[12]，对自然和人为干扰的响应迅速且具有指示的作用。因此，探究不同土地利用方式下农田土壤活性有机碳组分的含量及变化特征，对调节土壤养分平衡，维持土壤肥力及合理调控土壤碳循环等尤为重要[13]。

目前，国内外对SOC组分的研究较为广泛，并取得了相应的研究成果。但这些研究主要集中在山地、森林、草原和草甸等生态系统，而鲜见对农田土壤的研究[14]。伊犁河谷丰富的降水和优越的自然环境为农业和畜牧业的发展提供了得天独厚的条件，其独特的地理位置对于西北干旱区气候和物质的循环有着巨大的调节作用，但迄今关于伊犁河谷农田土壤SOC及其组分的相关研究较少，尤其缺乏对不同土地利用方式下SOC组分含量及其分布特征的影响研究。因此，开展不同土地利用方式对农田土壤SOC组分及微生物量碳的影响，为合理利用伊犁河谷的土地资源及提高土壤肥力提供理论依据。

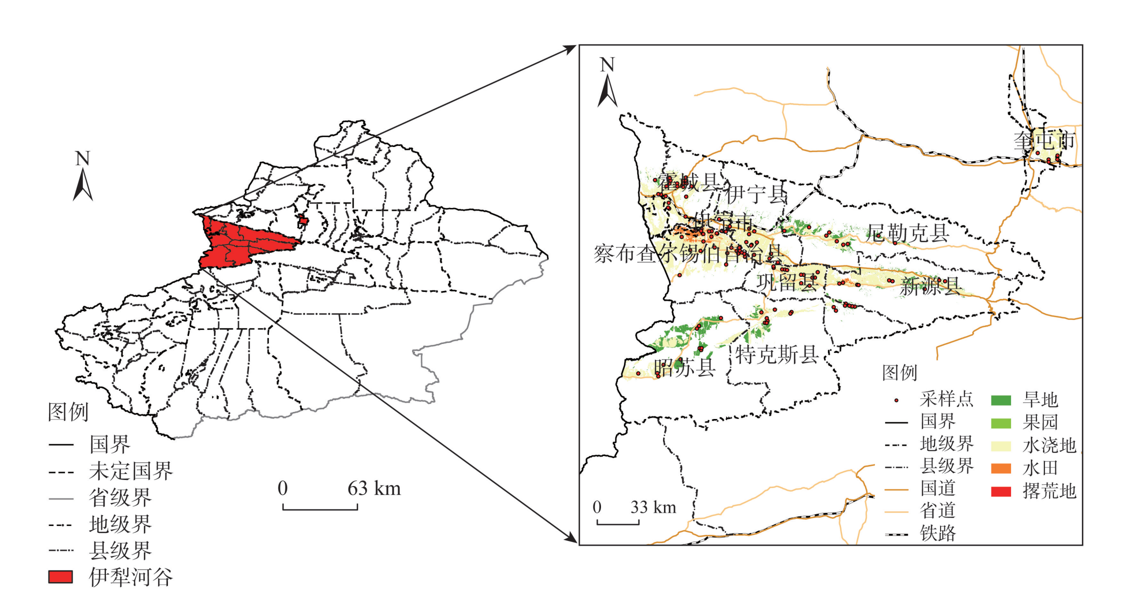
1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

伊犁河谷位于新疆的西北部，三面环山，地处80°09′~84°56′E，42°14′~44°50′N之间(图1)。伊犁河谷长约360 km，宽约275 km，该区域面积约为5.64×10^4 km^2。河谷气候温和湿润，属于温带大陆性气候，年平均降水量约417.6 mm，山区降水量较高，可达600 mm左右，年平均气温约10.5 ℃，年日照时数2748.1 h，无霜期149 d。地貌类型复杂多样，山地多雨湿润，有机质、速效钾含量较高，pH值为7.49~8.69之间，呈中性偏微碱[15]。河谷内有那拉提、唐布拉草原等多个国家级湿地公园，自然条件得天独厚，生物种类丰富多样，且有大量的矿产资源，非常有开发潜力。

1.2 样点布设与样品采集

参考2020年统计年鉴及第二次全国土地调查耕地面积数据在伊犁河谷共计布设120个调查点，其中水浇地65个、水田18个、旱地16个、果园12个、撂荒地9个。于2022年8月15日至20日，采集5种土地利用方式耕层(0~20 cm)土壤。采用梅花五点取样法取样，样品采集后，先去除可见的植物残体、残膜、砾石等土壤侵入体，然后混合均匀，按照四分法取土样混合样。土壤样品分两部分，编号为1号和2号，分别取1 kg装入样品袋，密封。2号袋土样用于测试分析微生物量碳(MBC)，放置在4 ℃冰箱内带回；1号袋用于测试分析有机碳(SOC)、易氧化有机碳(EOC)、可溶性有机碳(DOC)、颗粒有机碳(POC)、轻组有机碳(LFOC)、全氮(TN)、碱解氮(AN)、有效磷(AP)和速效钾(AK)，其中用于测试分析SOC、EOC、DOC、POC和LFOC的土壤样品，需风干处理后研磨过80目筛；测试分析TN、AN、AP和



注：底图采用自然资源部标准地图制作，审图号为GS(2022)4312号，对底图边界无修改。下同。

图1 伊犁河谷采样点示意图

Fig. 1 Schematic diagram of sampling points in the Ili River Valley

AK的土壤样品,在经风干后需研磨过20目筛。

1.3 样品测定方法与数据处理

有机碳(SOC)、颗粒有机碳(POC)含量采用重铬酸钾外加热法测定;溶解性有机碳(DOC)含量采用TOC分析仪测定;易氧化有机碳(EOC)成分采用K_2MnO_4氧化法-比色法测定;轻组分有机碳(LFOC)采用浮选法测定;微生物量碳(MBC)采用氯仿熏蒸-K_2SO_4提取方法测定[16]。全氮(TN)含量采用凯氏定氮法测定、碱解氮(AN)含量采用碱解扩散法测定、有效磷(AP)含量采用碳酸氢钠溶液浸取-分光光度法测定、速效钾(AK)含量测定采用1 mol·L^{-1}乙酸铵浸提-火焰光度法测定。

数据处理:在SPSS 15.0支持下利用单因素方差分析比较不同土地利用方式间的差异显著性,运用Pearson相关系数分析不同有机碳组分与土壤理化性质间的相关性;在Origin 2022、Excel 2010中制作图表等;ArcGIS 10.5中制作样点示意图。

2 结果与分析

2.1 农田表层土壤养分空间变异特征分析

分析表明,5种土地利用方式土壤有机碳(SOC)含量具有明显的差异特征,主要体现为水田(25.62 g·kg^{-1})>旱地(13.80 g·kg^{-1})>水浇地(12.19 g·kg^{-1})>果园(11.58 g·kg^{-1})>撂荒地(8.81 g·kg^{-1}),且均达到显著性差异水平($P<0.05$)。由表1可知,5种土地利用方式的土壤TN、AN、AP和AK含量均表现为:水田>水浇地>旱地>果园>撂荒地;其中水田与其他4种利用方式差异显著。水浇地、旱地、果园、撂荒地之间差异不显著。研究区SOC、TN、AN和AP含量均处于中等水平;AK含量处于中等偏高水平。旱地土壤有机碳(SOC)含量高于水浇地与果园,主要原因是不同区域的施肥量差异较大,且研究区雨水充沛,水热交互作用较为明显,昼夜温差较大,土壤的水热交互作用对作物的生长发育起着重要的作用,同时对土壤有机质的分解和矿化有着极大的促进作用,因此,造成旱地SOC高于其他4种利用方式。

2.2 农田表层土壤有机碳组分特征分析

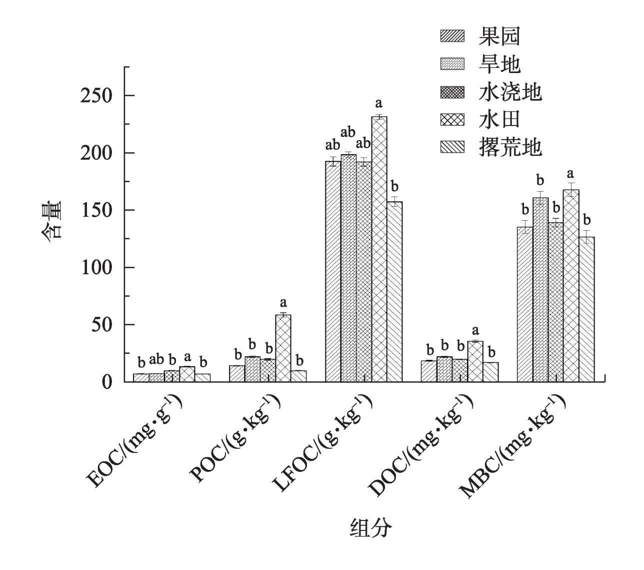
从图2中可以看出,轻组有机碳含量是所有测定组分中含量最大的,其次分别为微生物量碳、颗粒有机碳、可溶性有机碳,易氧化有机碳含量最小。土壤易氧化有机碳(EOC)含量为7.55~13.84 mg·kg^{-1},不同土地利用方式表层土壤EOC含量存在显著差异,表现为水田显著大于其他4种土地方式。0~20 cm土层EOC含量平均值大小为:水田>水浇地>旱地>果园>撂荒地。土壤颗粒有机碳(POC)含量为10.36~59.09 g·kg^{-1},不同土地利用方式表层土壤POC含量存在显著差异,表现为水田显著大于其他4种土地方式。0~20 cm土层POC含量平均值大小为:水田>旱地>水浇地>果园>撂荒地。土壤轻组有机碳(LFOC)含量为157.67~231.46 g·kg^{-1},不同土地利用方式表层土壤LFOC含量存在显著差异,表现为水田显著大于其他4种土地方式。0~20 cm土层LFOC含量平均值大小为:水田>旱地>水浇地>果园>撂荒地。土壤可溶性有机碳(DOC)含量为17.43~36.06 mg·kg^{-1},不同土地利用方式表层土壤DOC含量存在显著差异,表现为水田显著大于其他4种土地方式。0~20 cm土层DOC含量平均值大小为:水田>旱地>水浇地>果园>撂荒地。土壤微生物量碳(MBC)含量为126.94~168.02 mg·kg^{-1},不同土地利用方式表层土壤MBC含量存在显著差异,表现为水田显著大于其他4种土地方式。0~20 cm土层MBC含量平均值大小为:水田>旱地>水浇地>果园>撂荒地。水田的土壤有机碳组分含量显著高于水浇地、旱地、果园、撂荒地,主要是由于土地耕作方式有较大差异所致,水田长期处在水淹的状态,微生物较

表1 不同土地利用方式下0~20 cm表层土壤理化性质

Tab. 1 Physical and chemical properties of 0−20 cm surface soil under different land use methods

土地利用方式	SOC/(g·kg^{-1})	TN/(g·kg^{-1})	AN/(mg·kg^{-1})	AP/(mg·kg^{-1})	AK/(mg·kg^{-1})
果园	11.58±4.85b	1.12±0.38b	82.43±1.43b	12.58±3.47b	136.83±4.44b
水田	25.62±10.52a	3.36±1.50a	184.39±3.84a	30.45±1.23a	289.5±7.94a
水浇地	12.19±4b	1.33±0.79b	108±0.78b	21.48±0.78b	187.08±1.64b
旱地	13.80±8.45b	1.16±0.41b	98.93±2.72b	15.85±8.90b	142.83±7.71b
撂荒地	8.81±2.12b	0.96±0.41b	77.31±2.15b	12.26±1.71b	112.14±3.84b

注:不同小写字母表示同一类型不同土地利用的差异显著性($P<0.05$)。



注:不同小写字母表示同一类型不同有机碳组分的差异显著性($P<0.05$)。

图2 不同土地利用方式对有机碳组分的影响

Fig. 2 Effects of different land uses on organic carbon components

不活跃,抑制有机质的矿化与分解,更有利于土壤SOC含量的积累;水浇地的水分充足,农户施肥量较大,更有利于SOC含量的积累;旱地受人为干扰频繁,使得土壤有机质暴露在外,加速了其矿化和分解的速度;同时耕作过程中增加了土壤微生物的数量和活性,进一步促进了有机质的降解速度;果园土壤SOC主要来源是地表凋落物,每年大量的植物凋落物和残渣的沉积,有助于提高土壤SOC的含量;撂荒地有机碳组分含量最低,是由于撂荒地土壤养分低,水分缺乏,不利于有机质的积累。

2.3 土壤养分对有机碳及其组分的影响

进一步研究了TN、SOC、MBC、EOC、POC、LFOC、DOC之间的相关性(表2),研究结果表明,TN、SOC和POC、LFOC、DOC之间存在极显著正相关,相关系数分别为0.622,0.36,0.489($P<0.01$),结果表明土壤SOC含量是影响土壤POC、LFOC和DOC含量的重要因素。与EOC之间差异不显著,且呈负相关,说明可能与EOC容易分解,且在土壤中的含量会随时间的变化而减少导致。微生物量碳与POC、DOC、LFOC之间存在极显著正相关,相关系数分别为0.294,0.338($P<0.01$),0.224($P<0.05$);易氧化有机碳与DOC之间存在显著负相关,相关系数为−0.189($P<0.05$);颗粒有机碳与LFOC、DOC之间存在极显著正相关,相关系数分别为0.402,0.732($P<0.01$);轻组有机碳与DOC之间存在极显著正相关,相关系数为0.465($P<0.01$)。

3 讨 论

土壤有机碳(SOC)是反映土壤肥力和耕地质量的重要指标之一[17-18],土壤活性有机碳对外界因素较敏感[19-20],土壤SOC组分及微生物量碳对人类活动尤其是土地利用变化的响应是当前生态学研究的热点之一[21],国内外学者也开展了大量相关研究。汪明霞等[22]研究表明,水田的SOC含量显著高于旱地、果园和水旱轮作,这与本研究结论一致。Basile-Doelsch等[23]指出DOC可能存在明显的季节性变化,温度和降水是影响DOC含量变化的重要因素。姜文婷等[24]的研究表明,土壤DOC的含量在不同土地利用方式下存在差异,农田土壤耕作会降低土壤的DOC含量[25]。本研究中DOC含量表现为水田最高,旱地次之,撂荒地最低,旱地高于水浇地的原因可能由于伊犁河谷旱地多分布在降水充足,土壤水分含量较高的区域,这与章晓芳[2]等研究结果一致。EOC受土地利用方式影响显著,这是由于EOC是土壤中周转速度较快,容易受到土壤管理措

表2 土壤全氮、有机碳与其组分的相关系数

Tab. 2 Correlation coefficients between soil organic carbon and its fractions

指标	TN	SOC	MBC	EOC	POC	LFOC
TN	1					
SOC	0.993**	1				
MBC	0.011	0.019	1			
EOC	−0.078	−0.059	0.065	1		
POC	0.622**	0.618**	0.294**	−0.04	1	
LFOC	0.36**	0.336**	0.224*	−0.002	0.402**	1
DOC	0.489**	0.487**	0.338**	−0.189*	0.732**	0.465**

注:*表示显著相关($P<0.05$);**表示极显著相关($P<0.01$)。

施及周围环境条件变化的影响所致[26]。本研究中EOC含量表现为水田和水浇地最高,撂荒地最低。水田和水浇地较高的原因可能是由于充足的灌溉导致土壤水热交换高于旱地、果园和撂荒地,同时植被生长发育速度较快,使得地表和地下凋落物输入量较高[27-28],故水田、水浇地的EOC含量显著高于旱地和果园。POC、LFOC含量在5种土地利用方式下均表现为:水田>旱地>水浇地>果园>撂荒地,这与前人研究结果有所差异[29],可能与研究区域地理位置的特殊性有关,伊犁河谷常年降雨充沛,研究区域内旱地海拔较高,其土壤类型多为黑钙土、栗钙土,有机质含量较高,因此,造成结果有一定的差异性。现有研究结果表明[30-31],土壤活性有机碳与LFOC是植物所需的重要速效养分库,在实际应用中可以指示土壤肥力水平,对耕作和施肥等农业生产措施做出快速反应。

凋落物及根系等有机物的不同输入是决定土地利用方式MBC含量差异的重要因素。本研究MBC含量在各土地利用方式下表现为:水田>旱地>水浇地>果园>撂荒地,与前人研究结果存在差异[32],其原因可能是由于水田灌溉量高于水浇地和果园,使得其土壤水分含量高于二者,由于微生物活动对土壤水分敏感,使得MBC高于水浇地和果园[33],此外,旱地降雨充足,水源保障程度略高于水浇地,SOC也高于水浇地,因此MBC较高。蒿廉伊[34]研究表明,降水对土壤有机碳(SOC)、微生物量碳(MBC)及可溶性有机碳(DOC)均未产生显著影响,而对轻组有机碳(LFOC)具有显著影响。原因是LFOC是一种游离态的有机质,由于缺乏黏粒等团聚体的保护,在土壤中易被矿化和分解。因此,易受到植被和环境因子的影响。周涛等[35]研究表明:在温度低于10 ℃的地区,土壤SOC随着温度的增加而有所降低,反之,则升高。原因是温度受海拔和降水的影响较大,因此,其研究结果与海拔成反比。李菊等[36]研究表明,海拔在219~2000 m区间内土壤有机碳(SOC)、微生物量碳(MBC)、可溶性有机碳(DOC)、轻组有机碳(LFOC)均随海拔的升高而增加,说明海拔越高温度越低,土壤中水分增加,抑制有机质的矿化、分解,因此更有利于土壤有机碳组分的积累。

4 结 论

本文以伊犁河谷为研究区域,以农田土壤为研究对象,研究不同土地利用方式下农田土壤有机碳组分及微生物量碳的含量特征对指导伊犁河谷土壤资源的合理利用具有重要意义。主要结论如下:

(1) 不同土地利用方式土壤有机碳(SOC)含量差异特征明显,主要表现为:水田>旱地>水浇地>果园>撂荒地,且均达到显著性差异水平($P<0.05$);土壤TN、AN、AP和AK含量均呈现出一致性规律,大致表现为:水田>水浇地>旱地>果园>撂荒地;其中水田与其他4种利用方式差异显著,说明水田更有利于养分的吸收与有机碳的积累,有利于提升土壤质量和固碳能力。

(2) 不同土地利用方式的土壤POC、LFOC、DOC、MBC、EOC具有显著差异,大致表现为:水田>旱地>水浇地>果园>撂荒地,且水田显著高于旱地、水浇地、果园和撂荒地;说明土壤POC、LFOC、DOC、MBC对土地利用方式的响应更为敏感。而EOC含量表现为:水田>水浇地>旱地>果园>撂荒地,水田显著高于旱地、果园、撂荒地,与水浇地差异不显著,EOC含量与其他组分结果有所差异,是由于EOC易被分解所致。

(3) 全氮、有机碳与POC、LFOC、DOC、之间存在极显著正相关,相关系数分别为0.622,0.36,0.489($P<0.01$);与MBC、EOC之间差异不显著,相关系数分别为0.011、-0.078。

参考文献(References):

[1] 孙涛, 冯晓敏, 高新昊, 等. 多样化种植对土壤团聚体组成及其有机碳和全氮含量的影响[J]. 中国农业科学, 2023, 56(15): 2929-2940. [Sun Tao, Feng Xiaomin, Gao Xinhao, et al. Effects of diversified cropping on the soil aggregate composition and organic carbon and total nitrogen content[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2023, 56(15): 2929-2940.]

[2] 章晓芳, 郑生猛, 夏银行, 等. 红壤丘陵区土壤有机碳组分对土地利用方式的响应特征[J]. 环境科学, 2020, 41(3): 1466-1473. [Zhang Xiaofang, Zheng Shengmeng, Xia Yinhang, et al. Responses of soil organic carbon fractions to land use types in hilly red soil regions, China[J]. Environmental Science, 2020, 41(3): 1466-1473.]

[3] 尤俊坚. 污泥生物质炭对豫东黄泛区风沙土质量影响及评价研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2023. [You Junjian. Influence of Sewage Sludge Biochar-mediated on Sandy SoiImprovement and Its Evaluation on the Yudong Plain[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2023.]

[4] 李菡, 袁红, 宋洪福, 等. 不同利用方式土壤有机碳及其组分研

究进展[J]. 江西农业学报, 2020, 32(8): 57-63. [Li Han, Yuan Hong, Song Hongfu, et al. Research advance in soil organic carbon and its components by different utilization mode[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2020, 32(8): 57-63.]

[5] 房飞, 唐海萍, 李滨勇. 不同土地利用方式对土壤有机碳及其组分影响研究[J]. 生态环境学报, 2013, 22(11): 1774-1779. [Fang Fei, Tang Haiping, Li Binyong. Effects of land use type on soil organic carbon and its fractions[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2013, 22(11): 1774-1779.]

[6] 刘红宜, 陈冲, 卢瑛, 等. 珠江三角洲平原农田土壤有机碳组分及剖面分布特征[J]. 土壤通报, 2017, 48(2): 399-405. [Liu Hongyi, Chen Chong, Lu Ying, et al. Characteristics of organic C fractions and its distribution in soil profiles of cultivated land in pearl river delta plain[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2017, 48(2): 399-405.]

[7] 郝海波, 许文霞, 侯振安. 水氮耦合对滴灌棉田土壤有机碳组分及酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2023, 29(5): 860-875. [Hao Haibo, Xu Wenxia, Hou Zhenan. Effects of coupled water and nitrogen on soil organie carbon fractionsand enzymes in a drip-irrigated cotton field[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2023, 29(5): 860-875.]

[8] 张黎黎. 沂河流域不同土地利用方式下土壤有机碳、氮及其组分特征[D]. 济南: 山东师范大学, 2022. [Zhang Lili. Characteristics of Soil Organic Carbon, Nitrogen and Its Fractions under Different Land Use in the Yihe River Basin[D]. Jinan: Shandong Normal University, 2022.]

[9] 贾重建, 刘红宜, 卢瑛, 等. 土地利用方式对土壤有机碳和团聚体组分特征的影响[J]. 热带地理, 2014, 34(5): 681-689. [Jia Chongjian, Liu Hongyi, Lu Ying, et al. Effects of land use patterns on soil organic carbon and aggregate fractions[J]. Tropical Geography, 2014, 34(5): 681-689.]

[10] 张一鹤. 不同土地利用方式下黑土团聚体及有机碳组分特征[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2018. [Zhang Yihe. Characteristics of Soil Aggregates and Organic Carbon Components in Black Soil under Different Land Uses[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2018.]

[11] 罗由林. 城郊农地利用方式转变对土壤有机碳稳定及核心微生物的影响[D]. 雅安: 四川农业大学, 2022. [Luo Youlin. Effects of Agricultural Land Use Change on Soil Organic Carbonstability and Core Microbial Communities in Suburban Area[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2022.]

[12] 杨桦, 彭小瑜, 杨淑琪, 等. 滇南喀斯特断陷盆地土地利用方式对土壤有机碳及其活性组分的影响[J]. 生态学报, 2022, 42(17): 7105-7117. [Yang Hua, Peng Xiaoyu, Yang Shuqi, et al. Effects of land use types on soil organic carbon and soil labile organic carbon in karst faulted basin of Southern Yunnan[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(17): 7105-7117.]

[13] 肖烨, 黄志刚, 武海涛, 等. 三江平原不同湿地类型土壤活性有机碳组分及含量差异[J]. 生态学报, 2015, 35(23): 7625-7633. [Xiao Ye, Huang Zhigang, Wu Haitao, et al. Compositions and contents of active organic carbon in different wetland soils in Sanjiang Plain, Northeast China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(23): 7625-7633.]

[14] 刘强, 梁鑫, 董佩丽, 等. 不同施肥措施对黄土丘陵区农田土壤有机碳组分和碳库管理指数的影响[J]. 土壤, 2023, 55(2): 446-452. [Liu Qiang, Liang Xin, Dong Peili, et al. Effects of different fertilization methods on farmland soil active organic carbon and carbon pool management indicators in loess hily area[J]. Soils, 2023, 55(2): 446-452.]

[15] 李娜, 陈署晃, 赖宁, 等. 基于GIS和地统计的伊犁州农田土壤养分空间变异特征分析[J]. 新疆农业科学, 2019, 56(11): 2096-2103. [Li Na, Chen Shuhuang, Lai Ning, et al. Spatial variation characteristics of farmland soil nutrients in Yili Prefecture based on GIS and geographic statistics[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2019, 56(11): 2096-2103.]

[16] 杨长明, 欧阳竹, 杨林章, 等. 农业土地利用方式对华北平原土壤有机碳组分和团聚体稳定性的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(12): 4148-4155. [Yang Changming, Ouyang Zhu, Yang Linzhang, et al. Organic carbon fractions and aggreqate stability in an aquatic soil as influenced byagricultural land uses in the Northern China Plain[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(12): 4148-4155.]

[17] 胡尧, 李懿, 侯雨乐. 岷江流域不同土地利用方式对土壤有机碳组分及酶活性的影响[J]. 生态环境学报, 2018, 27(9): 1617-1624. [Hu Yao, Li Yi, Hou Yule. The variation of soil organic carbon fractions and soil enzyme activity of different land use types in Minjiang River Valley[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2018, 27(9): 1617-1624.]

[18] 张恩月, 郑君焱, 苏迎庆, 等. 基于情景模拟的流域低碳土地利用格局优化研究——以汾河流域为例[J]. 干旱区研究, 2023, 40(2): 203-212. [Zhang Enyue, Zheng Junyan, Su Yingqing, et al. Optimization of low-carbon land use pattern based on scenario simulation: A Casestudy of Fenhe River Basin[J]. Arid Zone Research, 2023, 40(2): 203-212.]

[19] 马继龙, 史军辉, 王新英, 等. 洪水漫溢对塔里木河中游河岸胡杨林土壤有机碳及活性组分的影响[J]. 干旱区研究, 2023, 40(8): 1248-1257. [Ma Jilong, Shi Junhui, Wang Xinying, et al. Effects of flood overflow on soil organic carbon and active components of *Populus euphratica* forest in the middle reaches of the Tarim River[J]. Arid Zone Research, 2023, 40(8): 1248-1257.]

[20] 雷馨, 海新权. 祁连山地区土地利用变化对碳储量的影响及经济价值估算[J]. 干旱区研究, 2023, 40(11): 1845-1854. [Lei Xin, Hai Xinquan. Impacts ofland use change on carbon storage and estimation of economic value in Qilian Mountain Region[J]. Arid Zone Research, 2023, 40 (11): 1845-1854.]

[21] 祁心, 江长胜, 郝庆菊, 等. 缙云山不同土地利用方式对土壤活性有机碳、氮组分的影响[J]. 环境科学, 2015, 36(10): 3816-3824. [Qi Xin, Jiang Changsheng, Hao Qingju, et al. Effects of different land uses on soil active organic carbon and nitrogen fractions in Jinyun Mountain[J]. Environmental Science, 2015, 36(10):

3816-3824.]

[22] 汪明霞, 朱志锋, 刘凡, 等. 江汉平原不同土地利用方式下农田土壤有机碳组成特点[J]. 水土保持研究, 2012, 19(6): 24-28. [Wang Mingxia, Zhu Zhifeng, Liu Fan, et al. Composition characteristics of soil organie carbon under land use change in Jianghan Plain, Hubei Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2012, 19(6): 24-28.]

[23] Basile-Doelsch I, Balesdent J, Pellerin S. Reviews and syntheses: The mechanisms underlying carbon storage in soil[J]. Biogeosciences, 2020, 17(21): 5223-5242.

[24] 姜文婷, 高翔菲, 宋锦浩, 等. 不同土地利用方式土壤有机碳组分及微生物群落对植物残体输入的响应[J]. 土壤通报, 2023, 54(4): 831-839. [Jiang Wenting, Gao Xiangfei, Song Jinhao, et al. Responses of organic carbon fractions and microbial communities to plant residues under different land use patterns[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2023, 54(4): 831-839.]

[25] 李忠徽, 魏彬萌, 刘丹, 等. 黄绵土中碳酸钙含量和有机肥施用对土壤有机碳组分及CO_2排放的影响[J]. 环境科学学报, 2018, 38(6): 2498-2505. [Li Zhonghui, Wei Binmeng, Liu Dan, et al. Effect of calcium carbonate content and composted manure application on soil organic carbon fractions and CO_2 emissions in loessal soil[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2018, 38(6): 2498-2505.]

[26] Bongiorno G, Bünemann E K, Oguejiofor C U, et al. Sensitivity of labile carbon fractions to tillage and organic matter management and their potential as comprehensive soil quality indicators across pedoclimatic conditions in Europe[J]. Ecological Indicators, 2019, 99: 38-50.

[27] Paul K I, Polglase P J, Nyakuengama J G, et al. Change in soil carbon following afforestation[J]. Forest Ecology and Management, 2002, 168(1): 241-257.

[28] 陈高起, 傅瓦利, 沈艳, 等. 岩溶区不同土地利用方式对土壤有机碳及其组分的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(3): 123-129. [Chen Gaoqi, Fu Wali, Shen Yan, et al. Effects of different land use on soil organic carbon and its components in Karst Areas[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2015, 29(3): 123-129.]

[29] 胡玉福, 彭佳佳, 蒋双龙, 等. 川中丘陵区不同土地利用方式土壤活性有机碳含量特征研究[J]. 水土保持学报, 2014, 28(2): 221-225. [Hu Yufu, Peng Jiajia, Jiang Shuanglong, et al. Study on soil active organic carbon in different land use patterns of the Middle Sichuan Region[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2014, 28(2): 221-225.]

[30] 安申群, 贡璐, 李杨梅, 等. 塔里木盆地北缘绿洲4种土地利用方式土壤有机碳组分分布特征及其与土壤环境因子的关系[J]. 环境科学, 2018, 39(7): 3382-3390. [An Shenqun, Gong Lu, Li Yangmei, et al. Soil organic carbon components and their correlation with soil physicochemical factors in four different land use types of the Northern Tarim Basin[J]. Environmental Science, 2018, 39(7): 3382-3390.]

[31] Hassink J. Density fractions of soil macroorganic matter and microbial biomass as predictors of C and N min-eralizationl[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1995, 27(8): 1099-1108.

[32] 张晓东, 李忠, 张峰. 新疆艾比湖地区不同土地利用类型土壤养分及活性有机碳组分研究[J]. 水土保持研究, 2017, 24(5): 55-62. [Zhang Xiaodong, Li Zhong, Zhang Feng. Variation of soil nutrients and soil active organie carbon under different land use patterns in aibinur ake region of Xinjiang[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2017, 24(5): 55-62.]

[33] Qiu Liping, Zhang Qian, Zhu Hansong, et al. Erosion reduces soil microbial diversity, network complexity and multifunctionality[J]. The ISME Journal, 2021, 24(1): 2474-2489.

[34] 蒿廉伊. 控制降水对黄土高原西部荒漠草原土壤有机碳组分及其稳定性的影响[D]. 兰州: 西北师范大学, 2023. [Hao Lianyi. Effects of Manipulated Precipitation on Soil Organic Carbon and Its Stability in Desert Steppe of Western Loess Plateau[D]. Lanzhou: Northwest Normal University, 2023.]

[35] 周涛, 史培军, 王绍强. 气候变化及人类活动对中国土壤有机碳贮量的影响[J]. 地理学报, 2003, 58(5): 727-734. [Zhou Tao, Shi Peijun, Wang Shaoqiang. The impact of climate change and human activities on soil organic carbon storage in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(5): 727-734.]

[36] 李菊, 王琴, 孙辉. 海拔梯度对川西高寒土壤轻组分有机碳动态影响研究[J]. 水土保持研究, 2015, 22(1): 51-55. [Li Ju, Wang Qin, Sun Hui. Temporal dynamics of light-fraction organic carbon of subalpine-alpine soil alongan altitudinal gradient in the Southwestern China[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2015, 22(1): 51-55.]

Effects of different land-use methods on the organic carbon composition and soil microbial biomass carbon of farmland soil

LI Na, XIN Huinan, LAI Ning, LI Yongfu, LYU Caixia,
GENG Qinglong, DUAN Jingjing, CHEN Shuhuang
(Institute of Soil Fertilizer and Agricultural Water Conservation, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences,
Urumqi 830091, Xinjiang, China)

Abstract: Investigating the content characteristics of organic carbon components and microbial biomass carbon in farmland soil under different land-use methods is of considerable significance for guiding the rational utilization and management of soil resources in the Ili River Valley. By combining field investigations, sample collection, indoor analysis, and geostatistics, this study explored the content characteristics of soil SOC, POC, DOC, LFOC, EOC, and MBC in five land-use types, including dryland, irrigated land, paddy field, orchard, and abandoned land in the Ili River Valley. This study compared and analyzed the effects of land-use changes on soil organic carbon components and microbial biomass carbon in farmland in the Ili River Valley. Results showed that the contents of TN, AN, AP, and AK in soil were in the order of paddy field>irrigated land>dryland>orchard>fallow land. The nutrient content of paddy soil was significantly higher than that of the other four land-use types. The soil SOC content showed significant differences, primarily reflected in paddy fields (25.62 $g \cdot kg^{-1}$)>dryland (13.80 $g \cdot kg^{-1}$)>irrigated land (12.19 $g \cdot kg^{-1}$)>orchards (11.58 $g \cdot kg^{-1}$)>abandoned land (8.81 $g \cdot kg^{-1}$), and all reached a significant difference level ($P<0.05$). The contents of soil SOC, DOC, POC, LFOC, and MBC showed the characteristics of paddy field>dryland>irrigated land>orchard>abandoned land, with significant differences. The EOC content showed the characteristics of paddy field>irrigated land>dryland>orchard>abandoned land, with significant differences. The contents of SOC, DOC, POC, LFOC, MBC, and EOC in paddy soil were significantly higher than those in the other four land-use types. A highly significant positive correlation was detected between soil SOC and POC, LFOC, and DOC in the five land-use types, with the correlation coefficients being 0.622, 0.36, and 0.489, respectively ($P<0.01$), indicating that soil SOC content is an important factor affecting soil particulate organic carbon, light organic carbon, and soluble organic carbon contents.

Keywords: land use mode; farmland soil; organic carbon fraction; microbial biomass carbon; Ili River Valley